



# Mise en oeuvre expérimentale d'un Radar MIMO Ultra-Large Bande

Ettien Lazare Kpré, Cyril Decroze, David Carsenat, Thomas Fromenteze

## ► To cite this version:

Ettien Lazare Kpré, Cyril Decroze, David Carsenat, Thomas Fromenteze. Mise en oeuvre expérimentale d'un Radar MIMO Ultra-Large Bande. Journées Nationales des Mmicroondes, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01212305

**HAL Id: hal-01212305**

**<https://hal.science/hal-01212305>**

Submitted on 20 Oct 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Mise en œuvre expérimentale d'un Radar MIMO Ultra-Large Bande

Ettien L. Kpré<sup>1</sup>, Cyril Decroze<sup>1</sup>, David Carsenat<sup>1</sup>, Thomas Fromenteze<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de Recherche XLIM, Université de Limoges, France  
ettien.kpre@etu.unilim.fr

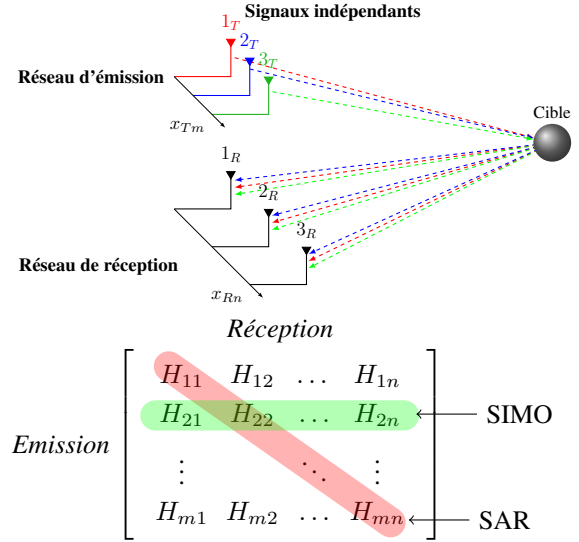
## Résumé

Ce document présente la mise en œuvre expérimentale d'un Radar MIMO ULB pour la détection de cibles ponctuelles. L'avantage du radar MIMO revient à améliorer la résolution angulaire sans avoir à augmenter le nombre d'antennes nécessaire dans les radars conventionnels et ce, grâce à la création d'un réseau d'antennes virtuelles plus large que le réseau physique. Les résultats obtenus en simulation et en mesure sont également comparés aux systèmes Radar classiques à balayage de faisceau (SIMO) et à ouverture synthétique (SAR).

## 1. Introduction

Le concept Radar MIMO a été introduit depuis une décennie et a rapidement captivé l'attention de nombreux chercheurs [2]. Le terme MIMO indique que plusieurs antennes émettent et plusieurs reçoivent. Cela dit les systèmes radars utilisant des réseaux d'antennes ne sont pas récents. Cependant les signaux émis dans la plupart de ces systèmes sont identiques et pondérés par des poids complexes à l'émission pour dépointer le faisceau dans une direction de l'espace. Contrairement à ces systèmes, les signaux émis par le radar MIMO sont indépendants et les poids sont appliqués lors du traitement des signaux reçus. Cela offre un degré de liberté supplémentaire pour améliorer la résolution [1], minimiser le niveau des lobes secondaires, discriminer des cibles très proches.

Chaque couple Émetteur/Récepteur permet d'avoir une information de la matrice  $H$  du canal comme indiqué sur la Figure.1. Cette matrice contient les informations relatives à la signature de la cible. Partant de ce principe, les systèmes radars traditionnels peuvent être considérés comme un cas particulier du MIMO. Le SAR qui consiste à effectuer une mesure séquentielle d'une antenne vers elle même revient ainsi à mesurer uniquement la diagonale de la matrice [2]. Le SIMO correspond à une acquisition du signal émis par une seule antenne sur plusieurs en réception. D'une manière équivalente, cela revient à mesurer une seule ligne de la matrice du canal. Le MIMO contient toutes les informations séparées de la matrice. Cela offre une richesse des données du canal sondé augmentant ainsi la probabilité de détection de cibles. Aussi, l'utilisation des réseaux d'émission et de réception indépendants, permet de créer un réseau virtuel contenant plus



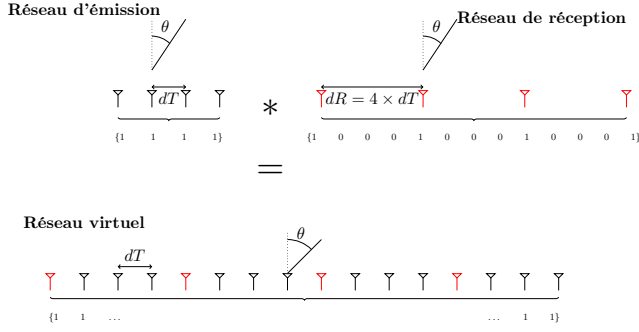
**Figure 1. Illustration d'un système Radar-MIMO distribué. La position du  $m^{\text{ième}}$  émetteur est donné par  $x_{Tm}$ , et celle du  $n^{\text{ième}}$  Récepteur est donné par  $x_{Rn}$ .**

d'éléments que le nombre d'antennes physiques comme le montre la Figure.2. En terme de rayonnement électromagnétique, cela revient à faire le produit des diagrammes de rayonnement de l'émission et de la réception. La transformée de Fourier spatiale de ce produit correspond à la convolution spatiale de la position des antennes, il en résulte un réseau virtuel plus grand. Cette particularité permet d'augmenter la résolution angulaire sans avoir à augmenter le nombre d'éléments rayonnants [3]. De ce fait, le design du réseau d'antennes doit être optimisé afin d'exploiter au mieux ce degré de liberté et minimiser les redondances spatiales.

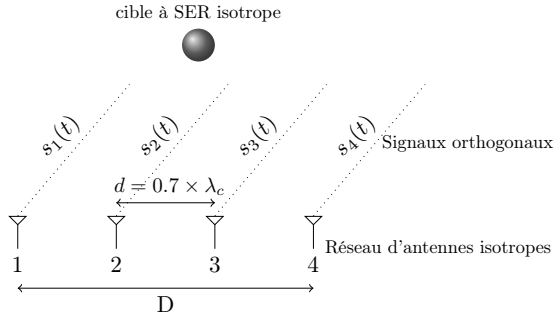
## 2. Reconstitution d'image

### 2.a. Résultats de simulation

Considérons un scénario radar constitué d'un réseau monostatique de 4 antennes isotropes espacées de  $d = 0.7 \times \lambda_c$  comme présenté par la Figure.3. Une cible ponctuelle à SER isotrope sur toute la bande d'analyse est placée à une distance  $r = 3m$  du radar, considérée en champ lointain ( $r > 2 \times D^2/\lambda_c$ ).  $\lambda_c$  étant la longueur d'onde centrale.



**Figure 2. Exemple de réseau virtuel créé avec un réseau de 4 éléments d'émission espacés de  $dT$  et 4 éléments de réception espacés de  $dR = 4 \times dT$ .**



**Figure 3. Schéma de la scène constituée d'un réseau monostatique de 4 antennes.**

Les signaux reçus sont donnés sous forme matricielle par l'équation 1 :

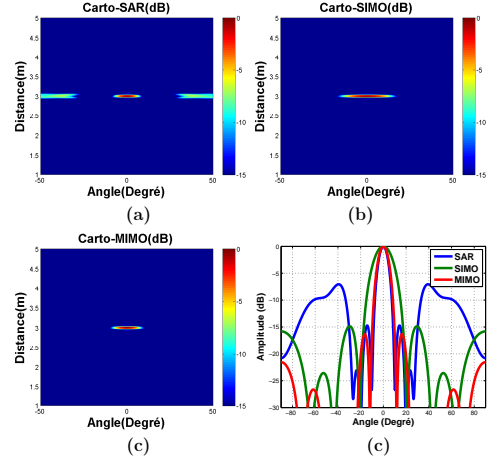
$$S_R = \sum_{i=0}^{nT-1} H.S_i + N \quad (1)$$

avec  $N$  le bruit additif gaussien,  $S_i$  les spectres des signaux émis et  $H$  la réponse fréquentielle du canal. Elle contient les déphasages subits par les signaux entre chaque couple Émetteur/Récepteur.

$$(H)_{m,n} \propto \exp(-jk.(x_{Tm} + x_{Rn}).d.\sin(\theta_0)) \quad (2)$$

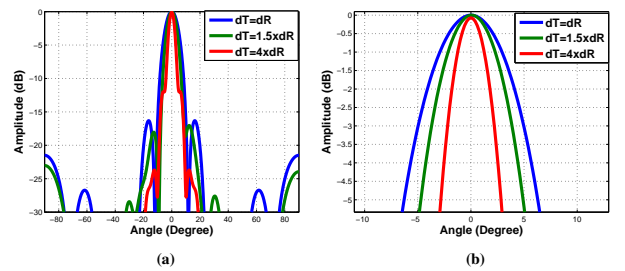
où  $k$  représente la fréquence spatiale et  $\theta_0$  l'angle sous lequel est vu la cible depuis le réseau d'antennes. Un balayage de faisceau numérique à posteriori dans toutes les directions de l'azimut permet de déterminer la position angulaire de la cible. La distance de la cible au Radar est déterminée grâce à la mesure du temps de propagation des signaux. La Figure.4 présente les cartographies et les plans de coupe au temps de focalisation (où toutes les fréquences sont en phase du fait de la compensation), dans le cas où le même réseau d'antennes est utilisé en configuration SAR, SIMO et MIMO.

Le SAR présente une faible ouverture angulaire cependant il présente de forts niveaux de lobes secondaires.



**Figure 4. Cartographie de la scène radar. (a) réseau SAR, (b) réseau SIMO, et (c) réseau MIMO . (d) plans de coupe au temps de focalisation pour la cible placée à  $r = 3m$ .**

Le SIMO quant à lui présente une plus large ouverture angulaire, mais contrairement au SAR, le niveau des lobes secondaires est faible. Enfin, le MIMO présente le meilleur compromis ouverture angulaire/niveau de lobes secondaires. Cela s'explique par l'échantillonnage spatiale plus fin que celui du SIMO et du SAR grâce au réseau virtuel créé, en exploitant toute la matrice du canal pour la réalisation du balayage de faisceau numérique. Dans le cas du MIMO, la résolution peut être améliorée en modifiant les distances entre antennes. En effet, pour un pas de réseau judicieusement choisi, les antennes peuvent être largement espacées sans créer de lobe de réseau tout en maintenant le niveau des lobes secondaires assez bas.



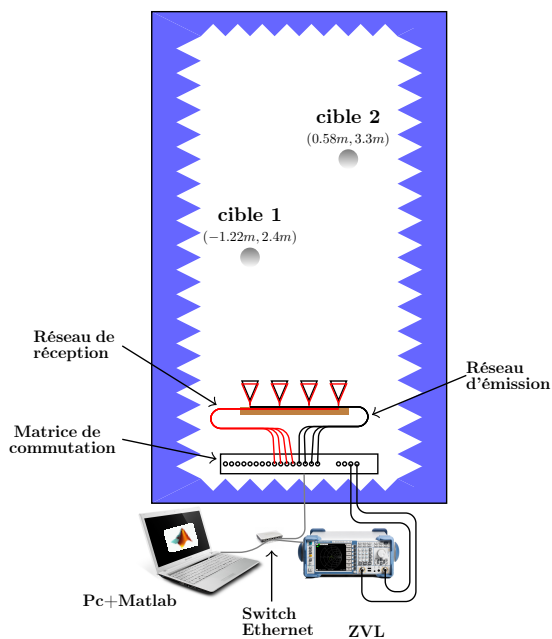
**Figure 5. Comparaison des résolutions angulaires et niveaux de lobes secondaires. (a) plan de coupe au temps de focalisation pour  $dT = dR$ ,  $dT = 2 \times dR$  et  $dT = 4 \times dR$ . (b) zoom sur les maximums des faisceaux.**

La Figure.5 présente une comparaison de résolution avec un même nombre d'antennes. Les antennes sont espacées de  $dR = 0.7 \times \lambda_c$  en réception et  $dT$  en émission.  $dT$  prend respectivement les valeurs  $dT = dR$ ,  $dT = 2 \times dR$  et  $dT = 4 \times dR$ . Les résultats montrent

bien que le MIMO offre bien cette liberté supplémentaire d'écarter au mieux les antennes pour gagner en résolution angulaire sans avoir d'importantes remontées de lobes secondaires.

## 2.b. Résultats de mesure

Le banc de mesure fréquentielle est présenté par la Figure.6. Il est constitué d'une matrice de commutation 4 vers 16 permettant de relier un ARV (ZVL Rohde and Schwarz) au réseau de  $4 \times 4$  (Émetteurs/Récepteurs) antennes Vivaldi. L'ensemble des équipements est piloté par un ordinateur via Matlab. La bande de fréquence utilisée s'étend de 3 à 6 GHz avec 801 points de mesure. Pour une validation de la comparaison entre le MIMO, le SIMO et le SAR, les antennes ont été espacées d'une distance  $dT = dR = d = 0.7 \times \lambda_c$  en émission et en réception.

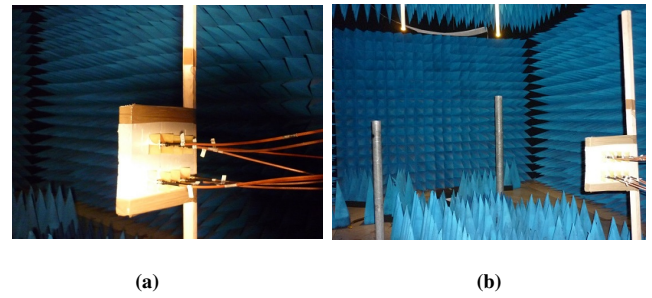


**Figure 6. Synoptique de la scène à imager. Deux cylindres métalliques à SER isotrope placés en face du réseau d'antennes Vivaldi.**

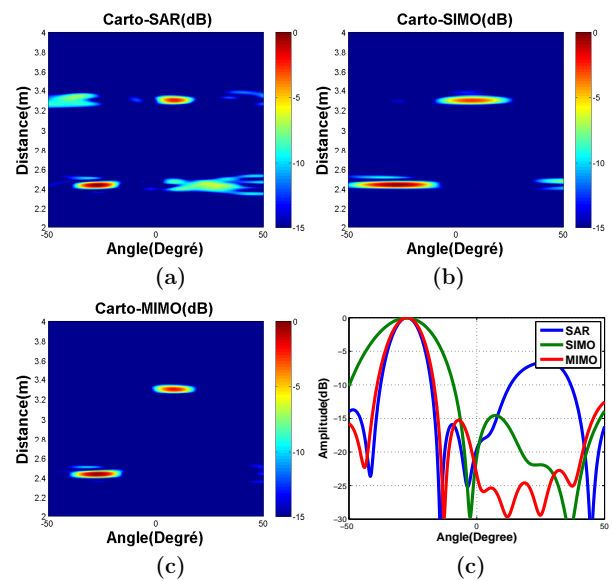
Deux cylindres métalliques à SER isotrope dans le plan azimutal ont été placés en face du réseau comme le montre la Figure.7. Les signaux sont émis et reçus séquentiellement afin d'obtenir tous les éléments de la matrice du canal, les mesures étant effectuées en chambre anéchoïque. L'image de la scène a été reconstituée (Figure.8) en appliquant une formation de faisceau numérique.

Le cas MIMO corrobore la théorie développée. Il présente le meilleur compromis résolution/lobes secondaires. La résolution angulaire est très proche de celle du SAR de l'ordre de  $13^\circ$  avec un rapport lobe principal à lobe secondaire de  $15dB$  tandis que le SAR présente un rapport de  $6dB$ . Le SIMO présente une résolution angulaire de  $24^\circ$  avec un rapport lobe principal à lobe secondaire de  $15dB$ .

Comme démontré dans la partie précédente, la résolution du MIMO peut être améliorée en utilisant le même nombre d'antenne et ceux, grâce à l'optimisation du pas

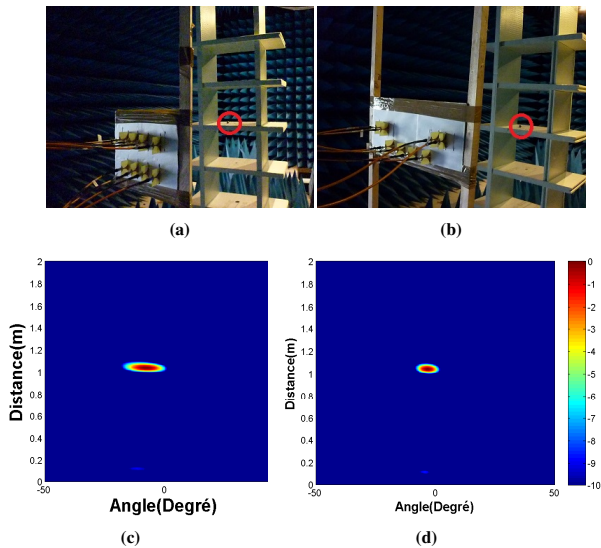


**Figure 7. Photographie du réseau d'antennes et scène à imager. (a) réseau d'antennes 4 émetteurs 4 récepteurs espacés de  $dT = dR = d = 0.7 \times \lambda_c$ . (b) deux cylindres métalliques à SER isotrope dans l'azimut**



**Figure 8. Image reconstituée des deux cylindres métalliques avec un réseau d'antennes  $4 \times 4$  dans le cas SAR(a), SIMO(b), et MIMO(c). (d) plan de coupe au temps de focalisation pour la cible placée à  $R = 2.4m$ .**

$d$  du réseau d'antennes pour éviter la redondance des informations spatiales. Afin de valider cette affirmation, un réseau d'antennes avec le même nombre d'éléments largement espacés a été mis en place. Dans ce cas le réseau d'émission est constitué de deux sous-réseaux espacés de  $4 \times \lambda_c$  avec un pas de sous-réseau de  $dT = 0.7 \times \lambda_c$ . La Figure.9 montre les photographies de la scène pour les deux réseaux avec une bille placée en face et les images reconstituées. Pour le même nombre d'antennes, la résolution a été améliorée d'un facteur 2 passant  $13^\circ$  (pour le premier réseau) à  $6^\circ$  (pour le second). De plus pour une même dynamique de  $10dB$  sur l'image aucun lobe secondaire n'est apparent malgré l'écartement des antennes. Il en résulte que pour une même résolution d'image, le MIMO permet de réduire considérablement le nombre d'antennes nécessaires dans le cas des radars classiques.



**Figure 9. Photographies de la scène et images reconstituées. (a) Photo du réseau avec un pas régulier. (b) Photo du réseau avec un pas irrégulier. (c) Image reconstituée avec le premier réseau. (d) image reconstituée avec le second réseau.**

### 3. Conclusion

Le concept du radar MIMO est assez récent, il existe dans la littérature de nombreuses publications sur cette thématique, cependant très peu de résultats expérimentaux sont présentés. Ce document présente l'apport du radar MIMO par rapport aux radar classiques avec des résultats expérimentaux. Il permet grâce au réseau virtuel d'améliorer la résolution de l'image sans avoir à augmenter le nombre d'antennes. Les systèmes radar MIMO présentent bien d'autres avantages qui n'ont pas été exploités dans ce document cependant, ils nécessitent autant de filtres adaptés que de voie d'émission pour chaque récepteur. Ainsi pour  $N$  voies d'émission et  $M$  voies de réception, il faut  $N \times M$  filtres adaptés, ce qui engendre une complexité et un coût élevé du système. Les premières perspectives de ces travaux seront de simplifier l'architecture du réseau MIMO en utilisant des composants compressifs basés sur le principe du retournement temporel qui joueront le rôle de multiplexeurs en émission et de démultiplexeurs à la réception. La faisabilité de ces multiplexeurs a été déjà montrée dans [4], il sera question de les adapter au cas du radar MIMO.

### Références

- [1] P. P. Vaidyanathan and P. Pal, "MIMO radar, SIMO radar, and IFIR radar : a comparison", in Signals, Systems and Computers, 2009 Conference Record of the Forty-Third Asilomar Conference on, 2009, pp. 160–167.
- [2] D. W. Bliss and K. W. Forsythe, "Multiple-input multiple-output (MIMO) radar and imaging : degrees of freedom and resolution", in Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-

Seventh Asilomar Conference on, 2003, vol. 1, pp. 54–59.

- [3] Li Jian and Stoica Petre, "MIMO radar signal processing". J. Wiley & Sons 2009.
- [4] T. Fromenteze, C. Decroze, and D. Carsenat, "Passive UWB multiplexing device for a single-port MIMO RADAR," in Microwave Symposium (IMS), 2014 IEEE MTT-S International, 2014, pp. 1–4.